

CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE COCCIÓN EN AGUA DE YUCA (*Manihot esculenta*, Crantz) EMPACADA EN VACÍO

Millán, P^(a)., Torres, J^(a)., Valencia, L.M^(a)., Fernández, A^(a)., Dufour, D^{(b)(a)}.,

^(a) Universidad del Valle, ^(b) Centre de Recherche Agronomique pour le Development, CIRAD, Montpellier, France.

Email: patricia.millan@correounivalle.edu.co

RESUMEN

Se estudió la cinética del cambio de la textura de raíces yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad HMC1, sometidas a cocción en agua dentro de empaques sellados al vacío, en un rango de temperaturas de 70 a 96°C. Se comparó este método de cocción con el tradicional de cocción directa en agua. La textura se definió como la dureza o fuerza de resistencia en una prueba controlada de compresión. El ablandamiento por efecto térmico, o pérdida de dureza, siguió una cinética de reacción de primer orden en ambos métodos de cocción. La velocidad de la reacción en función de la temperatura al cocinar en el empaque se relacionó por una energía de activación de 18.1 Kcal/mol, menor que la resultante de la cocción directa en agua (25.9 Kcal/mol). Al no haber contacto directo con el agua de cocción la yuca en empaque ni tuvo pérdida de materia ni absorbió agua. Por el contrario, en la cocción directa en agua estos dos fenómenos fueron evidentes y medidos. Se ajustaron los datos de absorción de agua mediante la ecuación propuesta por Peleg (1988), observándose al incrementarse la temperatura un aumento en la constante de Peleg (K_1) (min^{-1}) y una disminución en la constante de capacidad de Peleg (K_2) (g^{-1}).

Palabras claves: yuca, cocción en empaque sellado al vacío, degradación térmica de la textura.

1 Introducción

La raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una fuente importante de carbohidratos en países tropicales. El problema principal para el consumo de yuca cocida está relacionado a su textura final. En ciertos casos los tejidos de yuca se ablandan rápidamente o sufren poco ablandamiento después de un tiempo prolongado de cocción (Padonou, et. al. 2005 y Ngeve, 2003). Los tiempos de cocción varían con las variedades y el tiempo de cosecha, las raíces más viejas toman generalmente mayores tiempos de cocción (Beleia, et. al. 2004 y Ngeve, 2003).

La textura es un atributo de calidad importante para frutas y vegetales procesados. Para cuantificar la calidad del producto se utiliza como parámetro de textura la dureza. La dureza se puede medir instrumentalmente como la fuerza requerida para alcanzar una determinada deformación del material en un ensayo de compresión (Vu et al., 2004).

La cinética de degradación de la textura durante el procesamiento térmico ha sido investigada y modelada matemáticamente para varios productos vegetales (Rao & Lund, 1986). Los modelos involucran: un mecanismo de

degradación de primer orden (Huang & Bourne, 1983), un mecanismo de degradación bifásica (Van Loey et. al. 1995), y un modelo de conversión fraccional (Rizvi & Tong, 1997).

El modelo de Peleg (1988) ha sido utilizado para estudiar el proceso de absorción de agua en vegetales y materiales con almidón y semillas (Abu-Ghannam & McKenna, 1997; Hung, L., & Trehwella, 1993; Sopade, A., & Badau, 1992).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar el proceso de cocción en agua a presión atmosférica de yuca empacada en vacío.

2. Materiales y métodos

2.1. Preparación de las muestras

Se utilizaron raíces de yuca, cultivar HMC1 cosechadas a los 9 meses, provenientes de un cultivo comercial en el Municipio de Jamundí, Valle del Cauca. Las raíces se lavaron y pelaron manualmente, se cortaron en rodajas de 0.5 cm de espesor y 2.8 cm de diámetro, utilizando una cortadora de vegetales SKYMSSEN y un sacabocados.

2.2. Tratamiento térmico

Los discos de yuca fueron empacadas en vacío utilizando una empacadora (HOLLYMATIC) con un material de empaque resistente a la temperatura, (Aliflex sellable marca ALICO).

Muestras empacadas al vacío y sin empaque fueron puestas en un baño de agua termostático (JULABO) a la temperatura de cocción. Doce discos fueron utilizados para cada tratamiento. Las temperaturas de cocción fueron 70, 75, 80, 90 y 96°C. La relación muestra/agua era de 1:6.

2.3 Medida instrumental de la textura

La textura se midió mediante un ensayo de compresión uniaxial, utilizando un texturómetro (SHIMADZU Modelo EZTEST / CE), con los siguientes parámetros: celda de carga de 500N y un disco de compresión de 5 cm de diámetro, velocidad de deformación 3 mm/min, con un nivel de deformación del 34%. Se definió la propiedad textural (dureza), como la fuerza resultante al comprimir la muestra hasta la deformación establecida. Se comprimieron 12 muestras por cada tiempo de cocción a cada una las temperaturas.

2.4 Contenido de Humedad

El contenido de humedad se realizó por duplicado para muestras crudas y cocidas. Se determinó por el método de secado en estufa a 105°C (A.O.A.C, 1990).

2.5 Estimación de los parámetros cinéticos

2.5.1. Modelo cinético para textura

La dependencia del tiempo y la temperatura para el ablandamiento del tejido de yuca durante la cocción en agua fue descrita utilizando las leyes cinéticas y la ecuación de Arrhenius. Se utilizó un modelo cinético de primer orden representado por la ecuación:

$$-\ln\left(\frac{D}{D_0}\right) = Kt \quad (1)$$

Donde D/D_0 es la dureza relativa, D_0 la dureza inicial a un tiempo cero del proceso, D_t es la dureza a un tiempo dado, t , y k es la constante de velocidad (min^{-1}).

La dependencia de la constante de velocidad con la temperatura está representada por la ecuación de Arrhenius:

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{E_a}{RT} \quad (2)$$

Donde: k_0 es el factor de frecuencia (min^{-1}), E_a es la energía de activación (J/mol), R es la constante universal de los gases ($8,314 \text{ J/mol K}$) y T es la temperatura absoluta (K).

2.5.2 Modelo de Peleg para cinética de absorción de agua

El modelo empírico de Peleg es uno de los más utilizados para caracterizar el proceso de absorción de agua.

La ecuación de Peleg es

$$M = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (3)$$

Donde, M : contenido de agua a tiempo t (gr), M_0 : contenido de agua inicial (gr), k_1 : constante de velocidad de Peleg (min gr^{-1}), k_2 : constante de capacidad de Peleg (gr^{-1}), t : tiempo de cocción.

La ecuación de Arrhenius puede utilizarse para describir la dependencia de la temperatura con el inverso de la constante de velocidad de Peleg (K_1) de la siguiente manera:

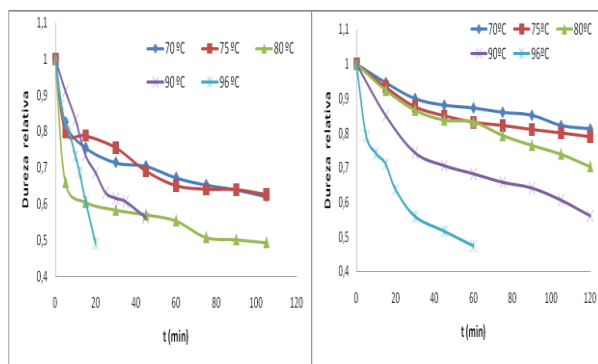
$$\frac{1}{K_1} = K_{ref} \exp\left[\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (4)$$

Donde K_1 es la constante de velocidad de Peleg ($\text{min (g agua/g bs)}^{-1}$), E_a energía de activación (kcal/mol), R : constante universal de los gases (1.987 cal/mol.K), T : temperatura absoluta (K) y K_{ref} es la constante de hidratación a la temperatura de referencia (T_{ref}). (Jideani; Mpotokwana, 2009).

3. Resultados y Discusión.

3.1 Degradación térmica de la textura de las muestras de raíz de yuca

Como se puede observar en la Fig. 1 para todas las temperaturas de los tratamientos de los dos métodos de cocción hubo un descenso de la dureza relativa y esta fue mayor al aumentar la temperatura de cocción. La disminución de la dureza relativa fue menor para las muestras empacadas al vacío comparadas a las muestras cocidas a presión atmosférica.



(a)

(b)

Figura 1. Dureza relativa de la yuca a) presión atmosférica b) en empaque al vacío

3.2 Contenido de humedad

Las muestras de yuca cocidas sin empaque exhibieron un comportamiento típico de absorción de agua (Fig.2). La tasa de absorción de agua fue mayor a temperaturas más altas y luego al equilibrio en un tiempo corto de cocción.

La ganancia de agua representa el agua absorbida por el almidón y otros carbohidratos capaces de retener agua en el tejido pero controlado por la expansión de las paredes celulares (Beleia et. al, 2004). La gelatinización del almidón puede ser la propiedad principal que afecta la hidratación. Durante este proceso el almidón se hincha absorbiendo agua hasta un punto máximo de equilibrio (Turhan y Gunasekaran, 2002).

En este artículo la pérdida de sólidos se consideró despreciable para los cálculos del contenido de absorción de agua.

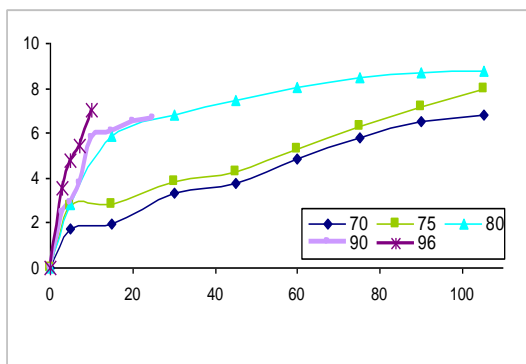


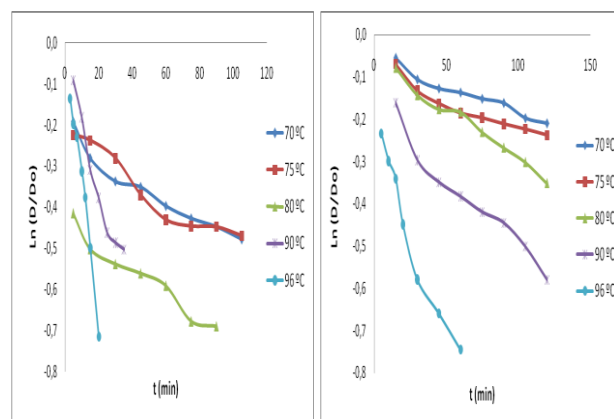
Figura 2: Variación de Humedad para producto cocido a presión atmosférica.

3.3 Cinética de ablandamiento térmico

Los datos se modelaron utilizando el modelo cinético de primer orden. La constante de velocidad de degradación (K) incrementa de 0.0025 min^{-1} a 0.0334 min^{-1} para cocción a presión atmosférica y de 0.0013 min^{-1} a 0.0095 min^{-1} para cocción utilizando empaque al vacío, cuando la temperatura incrementa de 70 a 96°C (Tabla 1). Beleia et. al., (2004), utilizando la técnica de conversión fraccional y un ensayo de compresión, encontraron constantes de velocidad para yuca cocida a temperatura de ebullición de 0.18 min^{-1} para la variedad Catarina Amarela y 0.32 min^{-1} para variedad IAPAR-19 Pionera cultivadas a 6 meses. Sajeev et. al., 2008, encontró diferencias en las constantes de velocidad entre variedades de yuca de 0.106 a 0.190 min^{-1} , indicando la variación en la calidad de la cocción entre las variedades de yuca.

La constante de referencia (K_{ref}) de la cocción a presión atmosférica fue mayor que la K_{ref} para el método de cocción con empaque al vacío (Tabla 1), lo cual indica que la degradación de la textura es mayor y más rápida en la cocción sin empaque al vacío.

La energía de activación se estimó por la gráfica del logaritmo natural de la dureza relativa vs., el tiempo. (Fig.3).



a)

b)

Figura 3. Cinética de cambio de textura de la yuca a) sin empaque b) con empaque al vacío.

Tabla 1. Parámetros cinéticos estimados por los cambios de la dureza a diferentes temperaturas de calentamiento para yuca cocida a presión atmosférica y empacada al vacío

Parámetros cinéticos (K:min ⁻¹)	70	75	80	90	96	Referencia (83°C)
Cocción Patm	0,0025	0.0027	0.0028	0.0120	0.0334	0.0067
Cocción empaque vacío	0.0013	0.0014	0.0024	0.0034	0.0095	0.0029

La energía de activación resultante fue 25.1 Kcal/mol para cocción sin empaque y 18.1 Kcal/mol para muestra empacada al vacío y el coeficiente de regresión lineal fue 0.94. La E_A indica la sensibilidad del proceso a la temperatura. Valores más altos de E_A en la cocción sin empaque al vacío, indican que el proceso está más influenciado por la temperatura, por tanto la degradación textural se da de forma más rápida (Fogler, 1999).

3.4 Cinética de absorción de agua para muestras cocidas sin empaque al vacío

En el modelo cinético de absorción de agua (Fig.4), el R^2 es muy aproximado a 1 (Tabla 2) por lo que se tiene un comportamiento de relación directa en términos de proporcionalidad y de excelente exactitud para describir el modelo.

Tabla 2. Información cinética para la absorción de agua de la yuca cocida a presión atmosférica

T (°C)	K_1 min (g agua/g b.s.) ⁻¹	K_2 (g agua/g b.s.) ⁻¹	R^2
70 °C	32,64	1,47	0,97
75 °C	30,07	1,49	0,99
80 °C	24,51	1,51	0,99
90 °C	14,93	1,55	0,97
96 °C	6,71	2,13	0,98

* La temperatura de referencia fue 83°C

K_1 es una constante que se relaciona con la velocidad de transferencia de masa, por lo tanto a menor valor de K_1 mayor velocidad inicial de absorción de agua. El decrecimiento de K_1 con el incremento de la temperatura sugiere un correspondiente incremento en la velocidad inicial de absorción de agua cuanto mayor sea la temperatura (Turhan et. al., 2002). En este estudio se encontraron menores valores de K_1 para 96 °C lo cual puede relacionarse con la mayor disposición que tiene el tejido al inicio del proceso para absorber agua.

El incremento en la absorción de agua es consistente con las curvas de hidratación de la Fig. 2, los valores más altos estuvieron relacionados a tiempos y temperaturas más altas.

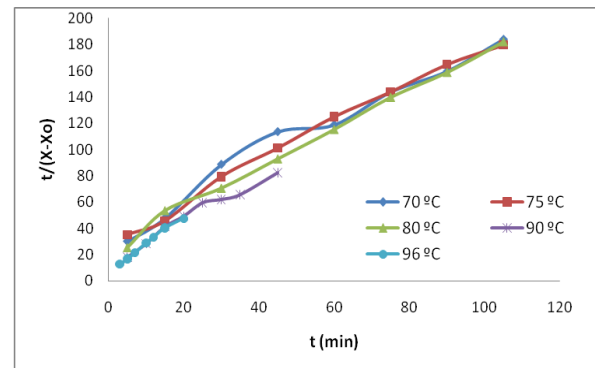


Figura 4. Cinética de absorción de agua en la yuca cocida a presión atmosférica

El valor obtenido de E_a (14.66 kcal/mol), indica que hay una gran facilidad para que el agua ingrese dentro de la yuca en el proceso de cocción, por lo que la absorción de agua es más rápida; según Jideani, V.A.; Mpotokwana, S.M., (2009) mientras más baja sea la E_a , la velocidad de absorción de agua será más rápida.

4. Conclusiones

En resumen se puede concluir que las muestras de yuca cocidas utilizando empaque sellado al vacío, presentan pequeñas variaciones en las propiedades de textura (dureza) del producto final comparada con muestras cocidas sin empaque. Se demostró que un modelo cinético de primer orden y la ecuación de Peleg describen adecuadamente los cambios de textura y absorción de agua respectivamente. La constante de capacidad de Peleg K_2 , incremento con el aumento de la temperatura demostrando que la tasa de absorción de agua aumenta y la capacidad de absorción de agua disminuye al aumentar la temperatura.

5. Bibliografía

- Abu-Ghannam, N., & McKenna, B. (1997b). Hydration kinetics of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 62, 520–523.
- AOAC (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Arlington, VI: Association of Official Analytical Chemists.
- Beleia, A., Prudencio-Ferreira, S. H., Yamashita, F., Sakamoto, T. M., & Ito, L. (2004). Sensory and instrumental texture analysis of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) roots. *Journal of Texture Studies*, 5(35), 542–553.
- Bourne, M.C. (1989). Applications of chemical kinetic theory to the rate of thermal softening of vegetable tissue. In: *Quality Factors of Fruits and Vegetables. Chemistry and Technology* (edited by J.J. Jen). Pp. 98±110. Washington: American Chemical Society
- Fogler, H. S. (1999). *Elements of chemical reaction engineering* (3rd ed., pp. 69–70). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Huang, Y., & Bourne, M. (1983). Kinetics of thermal softening of vegetables. *Journal of Texture Studies*, 14, 1-9.
- Hung, T. V., Liu, L. H., Black, R. G., & Trehwella, M. A. (1993). Water absorption in chickpea (*C. arietinum*) and field pea (*P. sativum*) cultivars using Peleg model. *Journal of Food Science*, 58, 848–852.
- Jideani, V.A.; Mpotokwana, S.M., (2009). Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. *Journal of Food Engineering* 92 182–188.
- Ngeve, J. M. (2003). Cassava root yields and culinary qualities as affected by harvest age and test environment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 4(83), 249–257.
- Padonou, W., Mestres, C., & Nago, M. C. (2005). The quality of boiled cassava roots: Instrumental characterization and relationship with physicochemical properties and sensory properties. *Food Chemistry*, 2(89), 261–270.
- Peleg, M. (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53, 1216–1217.
- Rao, A., & Lund, B. (1986). Kinetics of thermal softening of foods: a review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 10, 311-329.
- Rizvi, F., & Tong, C. (1997). Fractional conversion for determining texture degradation kinetics of vegetables. *Journal of Food Science*, 62 (1), 1-7.
- Sopade, P. A., Ajisegiri, E. S., & Badau, M. H. (1992). The use of Peleg's equation to model water absorption in some cereal grains during soaking. *Journal of Food Engineering*, 15, 269–283.
- Turhan, M.; Gunasekaran, S. (2002). "Kinetics of in situ and in vitro gelatinization of hard and soft wheat starches during cooking in water". *Journal of Food Engineering* 52, 1-7.
- Van Loey, A., Fransis, A., Hendrickx, M., Maesmans, G., & Tobback, P. (1995). Kinetics of quality changes of green peas and white beans during thermal processing. *Journal of Food Engineering*, 24, 361-377.
- Vu, T., Smout, C., Sila, D., Ly Nguyen, B., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2004). Effect of preheating on thermal degradation kinetics of carrot texture. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 37-44.